

能動制御下の同軸噴流における縦渦構造の初期発達機構

Near-field Evolution of Streamwise Vortical Structures in an Actively Controlled Coaxial Jet

○光石暁彦, 東大, 〒113-8656 東京都文京区本郷7-3-1, E-mail: mituisi@thtlab.t.u-tokyo.ac.jp
 深淵康二, 東大, 〒113-8656 東京都文京区本郷7-3-1, E-mail: fukagata@thtlab.t.u-tokyo.ac.jp
 笠木伸英, 東大, 〒113-8656 東京都文京区本郷7-3-1, E-mail: kasagi@thtlab.t.u-tokyo.ac.jp
 Akihiko Mitsuishi, The University of Tokyo, Hongo 7-3-1, Bunkyo-ku, Tokyo, 113-8656
 Koji Fukagata, The University of Tokyo, Hongo 7-3-1, Bunkyo-ku, Tokyo, 113-8656
 Nobuhide Kasagi, The University of Tokyo, Hongo 7-3-1, Bunkyo-ku, Tokyo, 113-8656

We carry out direct numerical simulation of an incompressible coaxial jet issuing into a cylindrical chamber. Active control is imposed at the nozzle to enhance the mixing. Budget analysis reveals different dynamic processes taking place in the evolution of streamwise structure in the inner and outer shear layers.

ガスタービン燃焼器を模擬した同軸噴流における詳細な物質輸送・混合制御機構を解明するため、直接数値計算(DNS)を行った。本発表では特に、能動制御により生じる渦輪の三次元化の過程に注目し、渦輪の崩壊に先立って現れる縦渦構造の成長機構を、渦度乱れ強さの輸送方程式に基づいて明らかにすることを目的とする。

内外剪断層において軸方向渦度乱れのピークに代表される縦渦構造の成長機構を明らかにするため、以下の位相平均⁽³⁾渦度乱れ強さの輸送方程式の評価を行った。

$$\frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{1}{2} \omega_z^2 \right)_\psi = CV_{r\psi} + CV_{z\psi} + TD_\psi + VD_\psi + DS_\psi + PR_r^{mv\psi} + PR_z^{mv\psi} + PR_\theta^{mix\psi} + PR_\psi^{iv\psi} \quad (1)$$

各項の数学的表現と流体力学的な解釈は文献^{(4),(5)}を参照されたい。本発表では、これらの項の中でも特に生成項に着目する。

表1はそれぞれの制御位相での内外剪断層近傍の $(\omega_z)_\psi$ のピーク位置における各生成項の値であり、太字で示すものが特に貢献度の大きい項である。表より、式(1)の各生成項の中でも、特に $PR_r^{mv\psi}$, $PR_z^{mv\psi}$, $PR_\theta^{mix\psi}$ の寄与が支配的であると言える。外側剪断層近傍で発生する構造の渦度乱れの生成は終始 $PR_r^{mv\psi}$ が担っている。また、下流では $PR_\theta^{mix\psi}$ による顕著な負の生成効果の影響を受けている。これに対して内側剪断層近傍で発生する構造の成長機構は、初めこそ平均速度勾配に由来する $PR_r^{mv\psi}$ であるが、噴流軸近傍に対流すると同時にz方向の伸張を表す $PR_z^{mv\psi}$ に取って代わられる。このように、縦渦構造の成長機構は内外剪断層で全く異なっている。

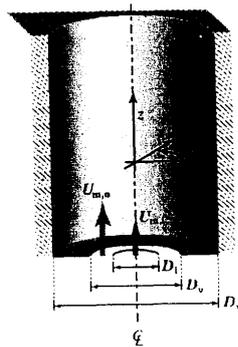


Fig. 1 Computational model.

図1のような計算領域において、計算領域、環状ノズル、中心ノズルの直径(半径)をそれぞれ D_w (R_w), D_o (R_o), D_i (R_i)とし、各形状パラメータを拡大比 $D_w/D_o = 2$, 直径比 $D_o/D_i = 2$, バルク平均流速比 $U_{m,o}/U_{m,i} = 6.4$ とした。環状噴流バルク平均流速 $U_{m,o}$ と同軸ノズルの外側直径 D_o で定義されるレイノルズ数 $Re = U_{m,o} D_o / \nu = 1320$ とした。

本研究ではノズル近傍に放出する渦輪の周期と大きさを独立に制御できる手法⁽¹⁾を、外側ノズル直径の周期的な収縮としてモデル化したもの⁽²⁾を制御入力とした。無次元の収縮振幅と周波数は、実験⁽¹⁾や数値計算⁽²⁾で混合の大幅な促進を確認できた周波数に対応する。

参考文献

- (1) Kurimoto, N. *et al.*, *Proc. 5th World Conf. Exp. Heat Transfer Fluid Mech. Thermodyn.*, (2001), pp. 511-516.
- (2) Mitsuishi, A. *et al.*, *J. Turbul.*, **7** (2006), to appear.
- (3) Hussain, A.K.M.F. and Zaman, K.B.M.Q., *J. Fluid Mech.*, **101**, 493-544 (1980).
- (4) Tennekes, H. and Lumley, J.L., *A First Course in Turbulence*, (MIT Press, 1972), pp. 81-88.
- (5) Dimitropoulos, C.D. *et al.*, *Phys. Fluids*, **13**, 1016-1027.

Table. 1 Phase-averaged production of the streamwise vorticity fluctuation intensity in the vicinity of (a) the inner and (b) the outer shear layers.

(a)	ψ	-1.2π	-0.8π	-0.4π	0	0.4π	0.8π	1.2π	1.6π
$PR_r^{mv\psi}$	66.8	53	28.2	20.7	7.44	2.32	0.807	0.151	
$PR_z^{mv\psi}$	56.3	116	189	275	218	183	148	73.8	
$PR_\theta^{mix\psi}$	-19.8	-24.6	-18.7	-11.5	-4.45	-1.54	-0.985	-0.46	
$PR_\psi^{iv\psi}$	0.9	6.22	17.8	34.3	27.6	9.27	9.44	-1.72	

(b)	ψ	-1.2π	-0.8π	-0.4π	0	0.4π	0.8π	1.2π	1.6π
$PR_r^{mv\psi}$	36.9	58.9	101	106	198	210	240	188	
$PR_z^{mv\psi}$	-2.02	3.6	16.3	42.8	65.9	24.0	46.6	86.6	
$PR_\theta^{mix\psi}$	-11.9	-16.3	-29.6	-37.4	-68.6	-95.4	-139	-152	
$PR_\psi^{iv\psi}$	1.38	-0.681	-0.977	6.14	11.3	29.9	34.7	44.2	